

# Trabalho de Conclusão de Curso

## **Pós-Tratamento utilizando Processo Oxidativo Avançado H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, de Efluente Doméstico tratado em Biorreator à Membrana**

Ana Paula Mignoni Botelho

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Eliza Nagel Hassemer

2014/1



Universidade Federal de Santa Catarina- UFSC  
Curso de Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental

**PÓS-TRATAMENTO UTILIZANDO PROCESSO OXIDATIVO  
AVANÇADO  $H_2O_2$ /UV, DE EFLUENTE DOMÉSTICO  
TRATADO EM BIORREATOR À MEMBRANA**

ANA PAULA MIGNONI BOTELHO

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Programa de  
Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental da  
Universidade Federal de Santa  
Catarina para a obtenção do Grau  
de Engenheiro em Engenharia  
Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria  
Eliza Nagel Hassemer.

Florianópolis, SC  
2014

**BOTELHO, A. P. M. Pós-Tratamento utilizando Processo Oxidativo Avançado  $H_2O_2$ /UV, de Efluente Doméstico tratado em Biorreator à Membrana.** Florianópolis: UFSC/CTC/ENS, 2014. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL


**PÓS-TRATAMENTO UTILIZANDO PROCESSO OXIDATIVO  
AVANÇADO  $H_2O_2$ /UV, DE EFLUENTE DOMÉSTICO  
TRATADO EM BIORREATOR À MEMBRANA**

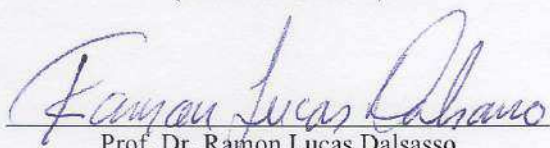
ANA PAULA MIGNONI BOTELHO

Trabalho submetido à Banca Examinadora como  
parte dos requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental –  
TCC II

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr<sup>a</sup> Maria Eliza Nagel Hassemer  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Pablo Helen Sezerino  
(Membro da banca)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ramon Lucas Dalsasso  
(Membro da Banca)

Florianópolis (SC)  
Julho/2014



Dedico este trabalho aos meus pais,  
Frederico e Ana Lúcia e minha irmã  
Fernanda. Sem vocês, nada disso seria  
possível.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar aos meus pais, minha irmã e minha avó, que me passaram os valores da vida, sempre me apoiando e me dando suporte para seguir meus sonhos.

Com carinho ao meu namorado, que esteve comigo durante esses anos ajudando a superar os obstáculos. Por ser meu melhor amigo e companheiro, presente em todas as horas.

Agradeço aos meus amigos, pessoas especiais com quem dividi muitos momentos importantes. Alguns presentes desde a minha infância, outros ganhando espaço ao longo da vida. Obrigada.

A minha querida Professora Maria Eliza Nagel Hassemer, que não apenas me orientou, mas acompanhou todos os passos deste trabalho, me ensinando muito além dos livros.

Ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) e Laboratório de Reuso de Águas (LARA), pela disponibilização de infraestrutura para realização dos ensaios. Aos bolsistas dos laboratórios, em especial a Franciele dos Santos, pela amizade, companheirismo e auxílio nas análises de laboratório.

Muito obrigada a todos que, mesmo não estando citados aqui, contribuíram para a conclusão deste sonho que está se tornando realidade.

*"Foi o tempo que dedicastes à tua rosa que a fez tão importante" (Antoine de Saint-Exupéry)*

## RESUMO

A aplicação dos processos oxidativos avançados é uma alternativa que vem sendo estudada para obter um efluente de boa qualidade para a reutilização. O esgoto doméstico apresenta elevada carga orgânica, organismos patogênicos e uma considerável concentração de nitrogênio, que quando descartados indevidamente causam poluição. Grande parcela do consumo de água é para fins não potáveis, sendo possível assim, o reúso do esgoto tratado. O presente trabalho tem como objetivo geral o polimento final do esgoto tratado, através da oxidação avançada utilizando peróxido de hidrogênio como oxidante e radiação ultravioleta como agente ativador. O esgoto doméstico foi tratado com biorreator à membrana, em bateladas sequenciais de 4 horas, e o permeado obtido neste tratamento foi utilizado nos ensaios com processo oxidativo avançado (POA). O tempo de exposição à radiação UV foi de 60 minutos, realizando coletas em tempos pré-determinados (0, 3, 6, 9, 15, 30 e 60 minutos) para análises. Os ensaios foram feitos em duplicata para cada concentrações de peróxido de hidrogênio (15, 30 e 50 mg/L). Os parâmetros analisados foram: temperatura, pH, cor, turbidez, COD, polissacarídeos e proteínas. Como resultado principal, teve-se a remoção quase que total da cor remanescente, chegando a eficiência próxima de 98% e boa remoção da turbidez, passando de 50% a eficiência. O processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> apresenta grande vantagem por não gerar lodo e apresentar um efluente final de elevada qualidade.

Palavras chave: esgoto doméstico, reúso de água, Processo Oxidativo Avançado, radiação ultravioleta, peróxido de hidrogênio.

## ABSTRACT

The application of advanced oxidation processes is an alternative that has been studied to obtain a good quality effluent for reuse. The domestic wastewater has a high organic load, pathogenic organisms and a significant concentration of nitrogen, when discarded improperly cause degradation of the receiving water. Large portion of water consumption is use for non-potable purposes, so it is possible reuse treated wastewater. This paper aims to final polishing of effluent treated in membrane bioreactor by advanced oxidation process using hydrogen peroxide as oxidant and ultraviolet radiation as activating agent. The permeate obtained in the bioreactor was used in the advanced oxidation process (AOP) tests. The time of UV exposure was 60 minutes, performing sampling at predetermined times (0, 3, 6, 9, 15, 30 and 60 minutes) for analysis. Three different concentrations of hydrogen peroxide (15, 30 and 50 mg / L) were tested, twice all tests. The parameters analyzed were: temperature, pH, color, turbidity, dissolved organic carbon (DOC), polysaccharides and proteins. The process showed 98 % of remaining color removal, 50 % efficiency of turbidity removal. The UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process showed very positive results, don't generate sludge and produce a final effluent of high quality.

**KeyWords:** Advanced Oxidative Process, hydrogen peroxide, ultraviolet radiation, reuse, wastewater.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de um sistema convencional de tratamento de esgotos (CAMPOS, 1999).....	27
Figura 2: Fluxograma de uma estação de tratamento convencional de esgotos. (JORDÃO e PESSOA, 1995).....	30
Figura 3: Configurações de biorreatores à membrana: (a) recirculação externa; (b) membrana submersa (VIERO, 2006).....	33
Figura 4: Representação esquemática do biorreator à membrana (BELLI, 2011).....	42
Figura 5: Fotografia do biorreator à membrana piloto .....	43
Figura 6: Amostra do afluente do biorreator à membrana (BELLI, 2011).....	44
Figura 7: Permeado proveniente do biorreator à membrana. ....	44
Figura 7: Reator STERILIGHT modelo SSM-24.....	45
Figura 8: Fluxograma do ensaio $H_2O_2$ /UV.....	46
Figura 9: Coleta e análise da temperatura da amostra no tempo 60 minutos. ....	47
Figura 11: Comparação entre o permeado e o efluente tratado com POA $H_2O_2$ /UV.....	49
Figura 12: Remoção da cor remanescente em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	51
Figura 13: Remoção da turbidez remanescente em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	52
Figura 14: Influência da radiação UV e concentração do $H_2O_2$ no pH do permeado. ....	53
Figura 15: Comportamento da temperatura em função do tempo de exposição a radiação UV.....	54
Figura 16: Remoção de COD em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	55
Figura 17: Redução de proteínas em função da concentração de $H_2O_2$ e do tempo de radiação UV.....	57
Figura 18: Redução de polissacarídeos em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de esgotos por atividade e usuário.....	25
Tabela 2: Tipos de membranas e materiais retidos.....	31
Tabela 3: Sistemas típicos de POA.....	34
Tabela 4: Distribuição do consumo de água em indústrias. ....	40
Tabela 5: Características do esgoto doméstico bruto e após o tratamento no biorreator à membrana.....	43
Tabela 6: Dosagem de $H_2O_2$ .....	45
Tabela 7: Eficiência do tratamento POA $H_2O_2$ /UV.....	50
Tabela 9: Remoção da cor remanescente em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	50
Tabela 10: Remoção da turbidez remanescente em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	52
Tabela 11: Remoção do COD em função da concentração de $H_2O_2$ e o tempo de radiação UV.....	55
Tabela 12: Redução de proteínas em função da concentração de $H_2O_2$ e do tempo de radiação UV.....	56
Tabela 13: Redução de polissacarídeos em função da concentração de $H_2O_2$ e tempo de radiação UV.....	57

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>22</b>
2.1. Objetivos Específicos .....	22
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
3.1. Esgoto sanitário .....	23
3.1.1. Esgoto doméstico .....	23
3.1.1.1. Características dos esgotos domésticos.....	24
3.1.2. Quantidade produzida .....	25
3.2. Tratamento de esgotos.....	26
3.2.1. Tratamento convencional .....	26
3.2.2. Filtração por membranas.....	31
3.2.3. Biorreator a membranas .....	31
3.2.4. Processo Oxidativo Avançado (POA).....	33
3.2.4.1. Processo UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	35
3.2.4.1.1. Radiação UV .....	36
3.2.4.1.2. Lâmpadas de mercúrio .....	36
3.3. Reúso de Efluente Tratado .....	37
3.3.1. Potencial de reúso de água na Indústria .....	39
3.3.2. Potencial de reúso de água no meio urbano .....	40
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
4.1. Amostras de permeado .....	42
4.2. Experimento POA H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /UV .....	44
4.2.1. Reator .....	45
4.2.2. Dosagem de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .....	45

4.2.3.	Procedimento Experimental.....	46
4.2.4.	Análises Realizadas .....	47
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>49</b>
5.1.	Cor.....	50
5.2.	Turbidez .....	51
5.3.	pH.....	53
5.4.	Temperatura .....	54
5.5.	Matéria orgânica .....	55
5.5.1.	COD .....	55
5.5.2.	Proteínas e Polissacarídeos .....	56
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES .....</b>	<b>59</b>
6.1.	Conclusão.....	59
6.2.	Considerações .....	59
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>61</b>



## 1. INTRODUÇÃO

A poluição ambiental pode, sem dúvida nenhuma, ser hoje em dia apontada como um dos grandes problemas dos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Uma série de fatores contribuem para isto, como o mau uso dos recursos naturais, legislações ineficientes e que não são cumpridas, assim como a falta de consciência ambiental (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

A água retirada de um manancial para algum uso, retornará poluída. A água utilizada na agricultura contém pesticida, fertilizantes; a água de abastecimento público retorna como esgoto doméstico; as descargas de usinas tem elevada temperatura; e a indústria contribui com uma grande quantidade de poluentes químicos e resíduos orgânicos. Para agravar o problema, poluentes também vem de fontes naturais, como o mercúrio (MASTERS e ELA, 2008).

Tudo que fazemos ou consumimos tem um gasto de água, parte dessa água necessita ser potável, como o uso em hospitais e algumas tarefas domésticas. Porém grande parte deste consumo poderia ser água de reúso, seja para irrigação, lavagem de bens públicos, como também uma reciclagem interna das águas utilizadas em processos industriais.

O aumento na demanda de água para atender o consumo humano, agrícola e industrial, faz repensar o uso de água, já que as reservas de água doce no planeta são limitadas. A adoção de algumas estratégias para racionalizar os recursos hídricos assim como a necessidade de medidas mitigadoras, é imprescindível nos dias atuais. Neste contexto, as práticas conservacionistas como o uso eficiente e o reúso da água, se tornam maneiras inteligentes de poder ampliar o número de usuários de um sistema de abastecimento, sem a necessidade de grandes investimentos na ampliação ou a instalação de novos sistemas de captação de água (FIESP e CIESP, 2004).

Há necessidade de novas tecnologias que atendam a possibilidade não apenas de lançamento em corpos d'água, mas também que sirvam de água de reúso. Deste modo é possível a utilização desta água para usos não potáveis em substituição da água tratada e potável (VIANA, 2004).

O sistema convencional de saneamento com sua lógica de fim de tubo não atendem as demandas atuais. Os resultados disto têm sido a grande exploração e poluição dos corpos hídricos, assim como dos solos (COHIM e KIPERSTOK, 2007). Técnicas inovadoras que visam o

reúso das águas residuárias estão ganhando a devida importância nas recentes pesquisas, um exemplo são os Processos Oxidativos Avançados (POA).

Os processos fotoquímicos em sua maioria são chamados de processos oxidativos avançados (POA) e seus mecanismos de reação são basicamente uma imitação de processos naturais fotoiniciados em águas superficiais que estão expostas a luz do sol ou na atmosfera terrestre. O processo baseia-se na formação de uma espécie reativa de oxigênio, o radical hidroxil, que é um poderoso oxidante (SOUZA, 2013). Os POA têm sido amplamente estudados, pois podem ser aplicados ao tratamento de esgoto, tratamento de efluentes farmacêuticos e de indústrias têxteis, produção de água ultrapura, remediação de água subterrânea, degradação de explosivos tóxicos, laboratórios químicos, entre outros (SOUZA, 2013). A sua inserção na indústria se justifica pela potencial aplicação em processos integrados, para promoção da biodegradabilidade dos efluentes ou como métodos de refinação final com vista à reutilização da água.

## **2. OBJETIVOS**

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar o processo oxidativo avançado (POA), utilizando radiação ultravioleta e peróxido de hidrogênio (UV-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), como pós-tratamento de esgotos domésticos tratados em biorreator à membrana, com possibilidade de reúso.

### **2.1. Objetivos Específicos**

- Avaliar a remoção da cor remanescente do efluente,
- Avaliar a evolução dos parâmetros: pH, temperatura, turbidez, cor e matéria orgânica durante o processo oxidativo,
- Determinar a melhor dosagem de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,
- Determinar o tempo mínimo de exposição a radiação UV que torne o tratamento eficiente.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. Esgoto sanitário**

Segundo Jordão e Pessoa (1995), o termo esgoto é usado quase que exclusivamente para caracterizar as águas residuárias provenientes de diversos usos e origens tais como de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidade pública, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários.

Existem dois tipos de sistemas de esgotos sanitários, o primeiro é o sistema unitário, que coleta água pluvial, esgoto doméstico e industrial em um único coletor, o outro é o sistema separador absoluto.

No Brasil é adotado o sistema separador absoluto de esgoto sanitário, sendo que os despejos provenientes do uso doméstico em geral, indústrias e infiltração são levados ao tratamento de esgotos, já as águas pluviais são direcionadas as galerias de drenagem totalmente independentes e sem tratamento. Deste modo de acordo com o Manual de Saneamento da FUNASA (2006), o custo de implantação é menor, já que o diâmetro dos coletores pode ser reduzidos devido a menor vazão do sistema. Além disso, nem todo o esgoto industrial pode ser encaminhado diretamente ao esgoto sanitário, dependendo de sua natureza, deve passar por um tratamento prévio ou ser encaminhado à rede própria.

Jordão e Pessoa (1995) dividem o esgoto sanitário em dois grupos de acordo com as características particulares, são eles:

- Esgoto doméstico;
- Esgoto industrial.

##### **3.1.1. Esgoto doméstico**

“O esgoto doméstico é um despejo líquido resultante do uso da água pelo homem em seus hábitos higiênicos e necessidades fisiológicas” (TSUTIYA e ALÉM SOBRINHO, 2011).

Para Jordão e Pessoa (1995) esgoto doméstico pode ser definido como despejo principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Composto basicamente por água de

banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes e águas de lavagem.

### **3.1.1.1. Características dos esgotos domésticos**

Segundo o manual de saneamento da FUNASA (2006), as características dos esgotos podem ser divididas em físicas, químicas e biológicas.

Dentre as físicas pode-se destacar:

- **Matéria sólida:** aproximadamente 99,9% dos esgotos domésticos é água, e 0,01% são sólidos. Os sólidos presentes nos esgotos são a causa de poluição das águas;
- **Temperatura:** a temperatura do esgoto é, em geral, um pouco superior à das águas de abastecimento;
- **Odor:** os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados na decomposição, já o odor insuportável é devido a presença de gás sulfídrico, no esgoto velho;
- **Cor e turbidez:** a cor e a turbidez caracterizam o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada com turbidez indica esgoto fresco e a cor preta é típica de esgoto velho;
- **Variação de vazão:** a variação de vazão é em função dos costumes dos habitantes. A vazão doméstica do esgoto é calculada a partir do consumo médio diário de água por habitante. Estima-se que para 100 litros de água consumida, são lançados aproximadamente 80 litros de esgoto na rede coletora, ou seja o coeficiente de retorno é 80%.

As características químicas podem ser listadas em:

- **Matéria orgânica:** aproximadamente 70% dos sólidos no esgoto são de origem orgânica, geralmente são uma combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio e, algumas vezes, com nitrogênio;
- **Matéria inorgânica:** é formada principalmente por areia e minerais dissolvidos.

As principais características biológicas são:

- **Microrganismos de águas residuais:** bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas são os principais organismos presentes nos esgotos. As bactérias são as mais importantes, já que realizam a decomposição e estabilização da matéria orgânica, tanto na natureza como nas estações de tratamento;
- **Indicadores de poluição:** os coliformes são os organismos indicadores de poluição de origem humana. Porém há vários

organismos cuja presença num corpo d'água indica uma forma qualquer de poluição.

### 3.1.2. Quantidade produzida

A quantidade de esgoto produzida está diretamente ligada a disponibilidade de água. Contudo alguns fatores podem indicar uma menor ou maior produção de esgoto, como o nível sócio-econômico do local, as atividades desenvolvidas, hábitos de higiene, nível cultural entre outros fatores (TSUTIYA e ALÉM SOBRINHO, 2011).

Já que a quantidade de esgoto é diretamente proporcional a quantidade de água utilizada, Tsutiya e Além Sobrinho (2011) definem que a contribuição *per capita* de esgoto é o consumo de água efetivo *per capita* multiplicado pelo coeficiente de retorno, recomendado pela ABNT o valor de 80%, como citado anteriormente.

Segundo a NBR 7229 (1993), se existe a falta de dados locais, devem ser adotadas as contribuições indicadas na Tabela 1:

Tabela 1: Produção de esgotos por atividade e usuário.

Prédio	Unidade	Contribuição de Esgoto (L/d)
<b>1. Ocupantes permanentes</b>		
Residência (alto padrão)	pessoa	160
Residência (médio padrão)	pessoa	130
Residência (baixo padrão)	pessoa	100
Hotel (sem cozinha e lavanderia)	pessoa	100
Alojamento (provisório)	pessoa	80
<b>2. Ocupantes temporários</b>		
Fábrica (em geral)	pessoa	70
Escritório	pessoa	50
Edifícios públicos ou comerciais	pessoa	50
Escolas (externatos) e locais de longa permanência	pessoa	50
Bares	pessoa	6
Restaurante ou similar	refeição	25
Cinema, teatro e locais de curta permanência	lugar	2
Sanitários públicos *	bacia sanitária	480

\*Apenas de acesso aberto ao público

Fonte: NBR 7229, ABNT.

### **3.2. Tratamento de esgotos**

Segundo Leme (1982), o tratamento de esgotos sanitários consiste na remoção de matérias orgânicas, inorgânicas e microrganismos patogênicos que estão dissolvidos e em suspensão na água, para isto, utilizam-se processos de remoção físicos, químicos e biológicos.

Esses processos não atuam isoladamente, um determinado processo de tratamento provoca transformações no efluente, que influirão indiretamente nos demais processos. Um exemplo está na alteração das características químicas e biológicas dos esgotos após ter passado por processos físicos de sedimentação dos sólidos sedimentáveis. Assim sendo os processos de tratamento são definidos em função do fenômeno predominante (JORDÃO e PESSOA, 1995).

#### **3.2.1. Tratamento convencional**

Segundo Campos (1999) o tratamento pode ter níveis diferentes, denominados de tratamento primário, secundário ou terciário. A Figura 1 mostra o fluxograma de uma estação de tratamento completa.

Também são classificados de métodos de transferência de fase, pois baseiam-se na transferência de fase do contaminante, sem que ele seja destruído. É obtido água limpa e resíduo contaminante concentrado. Pode-se citar como exemplos: precipitação, coagulação, floculação, sedimentação, flotação, filtração, ultrafiltração, uso de membranas, centrifugação, osmose reversa, destilação e outros (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

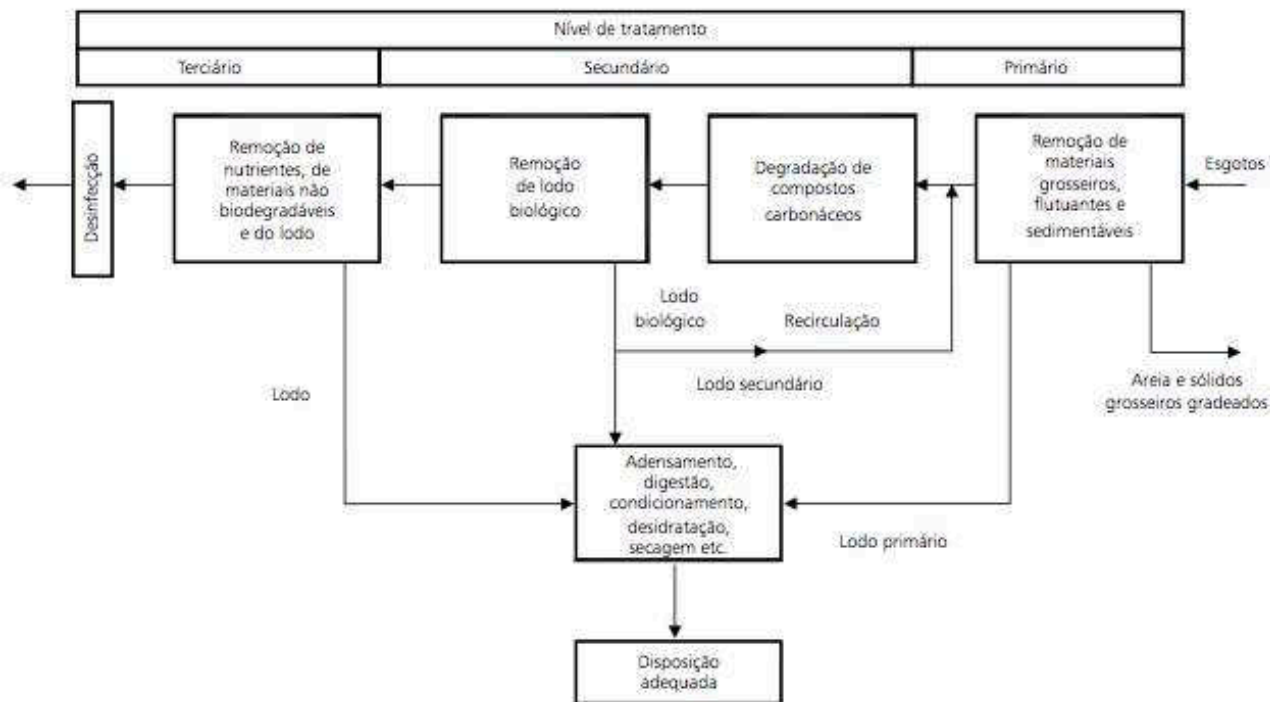


Figura 1: Fluxograma de um sistema convencional de tratamento de esgotos (CAMPOS, 1999).

O tratamento primário envolve a remoção de sólidos grosseiros, por meio de gradeamento, principalmente sedimentação, feitos por caixas de areia e decantadores ou flotação de materiais em suspensão (CAMPOS, 1999).

O tratamento secundário tem como objetivo a degradação biológica de compostos orgânicos. As bactérias que efetuam o tratamento se reproduzem e têm a sua massa total aumentada em função da quantidade de matéria degradada (CAMPOS, 1999).

As bactérias anaeróbias produzem menos biomassa, reduzindo os custos com tratamento, transporte e disposição final dos lodos biológicos produzidos nesta etapa. Geralmente, o volume de lodo no processo anaeróbio, em termos práticos, é menor que 30% do volume produzido pelo processo aeróbio, para um mesmo afluente líquido. Se tornando uma grande vantagem sobre o processo aeróbio (CAMPOS, 1999).

Após a degradação biológica, os sólidos produzidos devem ser removidos em unidades para este fim, como lagoas de sedimentação, decantadores, flotadores, etc. e o lodo deve ser encaminhado para adensamento, digestão, secagem e disposição adequada. No uso de processo anaeróbio, o tratamento do lodo é simplificado (CAMPOS, 1999).

Pode-se utilizar a recirculação de uma parte do lodo (bactérias ativas) ao reator biológico, conforme indicado na Figura 1. Deste modo tem-se o aumento na produtividade do sistema e maior estabilidade no seu desempenho (CAMPOS, 1999).

Em geral as estações chegam até o nível secundário de tratamento, porém em algumas situações é obrigatório o nível terciário, que tem como objetivo a redução nas concentrações de nitrogênio e fósforo. Este tratamento também gera lodo, devendo ser adensado, digerido, secado e disposto adequadamente (CAMPOS, 1999).

Para completar o tratamento, deve-se fazer a remoção de organismos patogênicos. Sistemas de tratamento com disposição no solo, ou lagoas de estabilização, conseguem eliminar um considerável número de patogênicos, sendo dispensável a desinfecção. Em outros casos, é necessária a desinfecção, que pode ser feita pelo uso de cloro, ozônio ou radiação ultravioleta (CAMPOS, 1999).

Jordão e Pessoa (1995) apresentam o fluxograma de um tratamento convencional (Figura 2) e apontam as unidades que formam



cada nível de tratamento, classificando-as em função da eficiência das unidades:

- Tratamento preliminar:
  - Remoção de sólidos grosseiros;
  - Remoção de gorduras;
  - Remoção de areia.
- Tratamento primário:
  - Sedimentação;
  - Flotação;
  - Digestão do lodo;
  - Secagem do lodo;
  - Sistemas compactos (sedimentação e digestão, Tanque de Imhoff);
  - Sistemas anaeróbios (lagoa anaeróbia, reator de fluxo ascendente).
- Tratamento secundários:
  - Filtração biológica;
  - Processos de lodos ativados;
  - Decantação intermediária ou final (sedimentação de lodo flocoso ou biomassa);
  - Lagoas de estabilização aeróbias (facultativa e aerada).
- Tratamento terciário:
  - Lagoas de maturação;
  - Desinfecção;
  - Processos de remoção de nutrientes;
  - Filtração final.

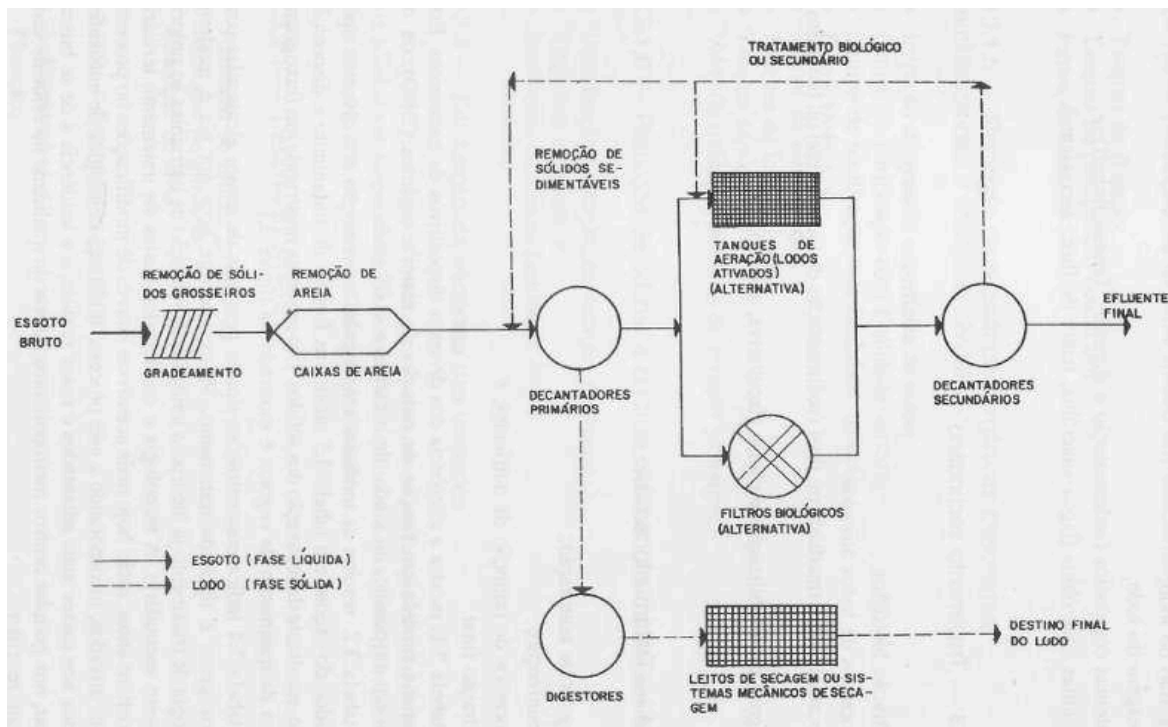


Figura 2: Fluxograma de uma estação de tratamento convencional de esgotos. (JORDÃO e PESSOA, 1995)

### 3.2.2. Filtração por membranas

Para Viana (2004), membrana é um filme que separa duas fases, se comporta como uma barreira semipermeável e seletiva, restringindo o transporte de substâncias presentes nas soluções.

São utilizadas para a filtração, separando sólidos da fase líquida, removendo diversos solutos, incluindo sais e microrganismos. Os processos com membranas podem ser classificados de acordo com o tamanho do poro da membrana, a massa molar da substância a ser filtrada ou a partir da pressão de operação. O objetivo do tratamento determina o tipo de membrana a ser utilizada. A microfiltração (MF) e a ultrafiltração (UF) são geralmente aplicados em sistemas de biorreatores a membranas (VIERO, 2006).

Schneider e Tsutiya (2001) apresentam a classificação dos tipos de membranas, de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2: Tipos de membranas e materiais retidos.

Membrana	Material retido
Microfiltração	Protozoários, bactérias, vírus (maioria)
Nanofiltração	Íons divalentes e trivalente, moléculas orgânicas com tamanho maior do que a porosidade média da membrana
Osmose Reversa	Íons, praticamente toda a matéria orgânica
Ultrafiltração	Material removido na MF, colóides e totalidade de vírus

Fonte: SCHNEIDER e TSUTIYA (2001)

### 3.2.3. Biorreator a membranas

Segundo Schneider e Tsutiya (2001), biorreatores com membranas, de um modo geral, são biorreatores convencionais, que podem ser aeróbios ou anaeróbios, junto com um sistema de membrana de microfiltração ou ultrafiltração que retém os sólidos suspensos e a biomassa. Para Belli (2011), os biorreatores a membranas podem ser definidos como um processo de tratamento de esgoto com a junção da etapa biológica de degradação da matéria orgânica aos processos físicos de separação de fases por membranas.

Esta tecnologia é geralmente empregada com o sistema de membranas acoplado ao reator biológico aeróbio. Assim, a membrana

substitui o decantador secundário, atingindo uma maior concentração de biomassa no taque de aeração, comparado ao sistema de lodos ativados. (VIANA, 2004)

Belli (2011) aponta as principais vantagens dos biorreatores à membrana no tratamento de esgoto sanitário, são as seguintes:

- Tratamento de altas cargas orgânicas volumétricas em menor tempo de retenção hidráulica;
- Menor produção de lodo, devido a maiores tempos de retenção da biomassa;
- Operação em baixas concentrações de oxigênio dissolvido, com potencialidade de nitrificação e desnitrificação em projetos que contemple grande tempo de retenção de biomassa;
- Alta qualidade dos efluentes gerados em termos de turbidez, densidade de bactérias, SST e DBO;
- Menor espaço requerido no tratamento de esgoto sanitário, comparado às tecnologias convencionais.

Já como desvantagens Belli (2011) indica:

- Custo inicial alto;
- Vida útil limitada das membranas (3 a 5 anos);
- Alto consumo de energia;
- Necessidade de controle da colmatação das membranas.

Os biorreatores à membrana podem ser operados em duas configurações básicas, conforme ilustra a Figura 3. Segundo Viero (2006), o reator com módulo externo, Figura 3a, denominado biorreator de recirculação, os módulos de membranas estão instalados fora do tanque aerado. O afluente é bombeado para os módulos, obtendo o permeado. Embora seja simples e de fácil operação, o uso de bomba de circulação acarreta em um alto consumo de energia.

A Figura 3b, representa o tipo submerso, denominado biorreator integrado, os módulos de membranas operam imersos no tanque de aeração. O conteúdo do biorreator está em contato com a parte externa das membranas. O permeado é succionado através das paredes das membranas (VIERO, 2006).

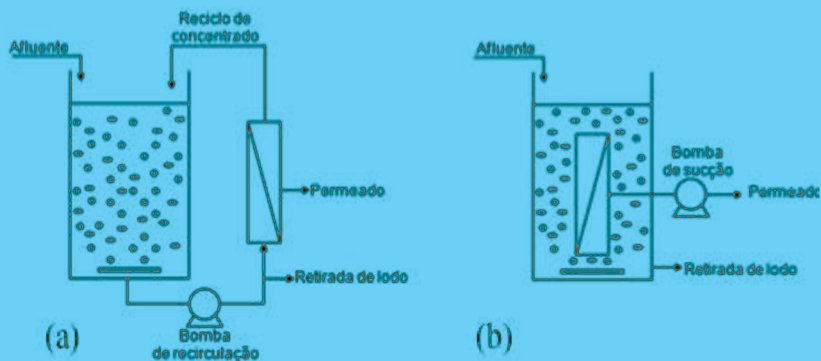


Figura 3: Configurações de biorreatores à membrana: (a) recirculação externa; (b) membrana submersa (VIERO, 2006).

### 3.2.4. Processo Oxidativo Avançado (POA)

Os métodos de tratamento de efluentes podem ser divididos em 2 grupos: métodos baseados na transferência de fase e os baseados na destruição dos poluentes, chamados de processos oxidativos avançados (POA) (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Os POAs têm sido muito estudados nos últimos anos. Neste processo, os contaminantes orgânicos são destruídos e transformados em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos (não tóxicos, ou de menor potencial tóxico), por meio de reações de degradação que envolve espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais hidroxila. É um processo limpo, podendo degradar vários compostos independentemente da presença de outros (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Segundo Gonçalves (2003), a primeira reação dos processos oxidativos avançados envolve dois passos: a formação do radical hidroxila, poderoso oxidante, e a reação deste radical com o contaminante inorgânico, podendo ser uma molécula ou um organismo. A segunda reação é facilitada em alvos que não tenham ligações moleculares saturadas, por exemplo, ligações duplas e triplas, ou configurações aromáticas. A reação do radical hidroxila com compostos orgânicos pode ser classificada de três formas: por adição de hidroxila, por retirada de hidrogênio e por transferência de elétrons.

Algumas vantagens são apresentadas por Teixeira e Jardim (2004), como:

- Mineralizam o poluente e não apenas transferem de fase;
- Transformam produtos refratários em compostos biodegradáveis;
- Podem ser combinados com outros processos, como pré e pós-tratamento;
- Geralmente não necessitam de um pós-tratamento ou disposição final;
- Não formam subprodutos;
- Em muitos casos, consomem menos energia, diminuindo os custos.

Teixeira e Jardim (2004) dividem os processos oxidativos avançados em dois grupos:

- Heterogêneos: contam com a presença dos catalisadores semi-condutores, que são substâncias que aumentam a velocidade da reação, com o objetivo de atingir o equilíbrio químico sem sofrer alteração química.
- Homogêneos: sem a presença de catalisador, a degradação pode ocorrer de duas maneiras:
  - Fotólise direta com ultravioleta (UV): onde a luz é a fonte que destrói o poluente. Tem uma eficiência mais baixa em relação ao processo com radical hidroxila.
  - Geração de radical hidroxila: alto poder oxidante, vida curta e responsável pela oxidação dos compostos orgânicos. É gerado a partir de oxidantes forte, como  $\text{H}_2\text{O}_2$  e  $\text{O}_3$ , podendo ser combinado com irradiação.

A Tabela 3 apresenta os sistemas típicos de POA, separados em homogêneos e heterogêneos.

Tabela 3: Sistemas típicos de POA.

Sistemas Homogêneos		Sistemas Heterogêneos	
Com Irradiação	Sem Irradiação	Com Irradiação	Sem Irradiação
$\text{O}_3/\text{UV}$	$\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{TiO}_2/\text{O}_2/\text{UV}$	Eleto-Fenton
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$	$\text{O}_3/\text{OH}^-$	$\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$	
Feixe de elétrons	$\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (Fenton)		
US			
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{US}$			
UV/US			

Fonte: TEIXEIRA e JARDIM, 2004.

### 3.2.4.1. Processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

O tempo necessário para o processo de fotodegradação depende da intensidade da radiação e da estrutura molecular do substrato orgânico. A velocidade de formação dos radicais hidroxila limitam a velocidade de oxidação do poluente, devendo otimizar as condições necessárias, obtendo assim uma melhor eficiência. A concentração de oxidante e o pH interferem na eficiência do tratamento (NAGEL-HASSEMER, 2006).

O custo do processo pode ser elevado, devido ao investimento inicial com reatores e fontes de radiação, além do consumo de agente oxidante e energia elétrica, que estão diretamente ligados à intensidade da radiação UV e o tempo de tratamento (NAGEL-HASSEMER, 2006).

A oxidação avançada vem sendo muito utilizada na destruição de compostos tóxicos, assim como nos compostos recalcitrante (VARGAS, 2008). Segundo Raj e Quen (2005) existem três principais alternativas para o uso deste tratamento em efluentes:

- Alternativa 1: Efluentes recalcitrantes podem ser tratados somente por processos oxidativos avançados, sendo que em alguns casos necessitam de altas dosagens do agente oxidante utilizado;
- Alternativa 2: Para efluentes recalcitrantes, pode-se utilizar o POA como pré-tratamento de uma unidade de tratamento biológico. A principal função seria converter os componentes não-biodegradáveis em compostos mais biodegradáveis, visando melhorar a eficiência do tratamento biológico posterior;
- Alternativa 3: Em efluentes biodegradáveis, os POA podem ser utilizados depois de um tratamento biológico, como tratamento terciário antes do lançamento dos efluentes nos corpos receptores. Deste modo, ocorreria eliminação do residual de compostos recalcitrantes que restaram do tratamento biológico.

A formação dos radicais hidroxila se dá pelo uso de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), um poderoso oxidante, com potencial de oxidação de 2,8 V. O processo combina H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com radiação UV, sendo muito eficiente pela grande produção de radicais hidroxila. (TEIXEIRA e JARDIM, 2004)

### 3.2.4.1.1. Radiação UV

Os efeitos bactericidas da radiação ultravioleta (UV) foram comprovados de forma precisa por Barnard & Morgan, em 1903, utilizando correntes elétricas para produzir radiações com comprimento de onda entre 226 nm e 328 nm (GOLÇALVES, 2003).

Possui alto grau de inativação de microrganismos patogênicos com pouco tempo de contato, não produz subprodutos tóxicos que afetem o meio aquático (WHITBY e PALMATEER, 1993, *apud* GONÇALVES, 2003).

A radiação UV tem comprimento de onda variando entre 100 e 400 nm. Pode ser dividida em:

- UVA (400 a 320 nm) – pode causar dano as células vivas, que não é absorvida pelo ozônio;
- UVB (320 a 280 nm) – causa dano as células vivas, porém grande parte é absorvida pelo ozônio;
- UVC (280 a 100 nm) – é altamente energética, bem como prejudicial aos seres vivos, ainda que absorvida quase que totalmente pela atmosfera (ROCHA, ROSA e CARDOSO, 2009).

### 3.2.4.1.2. Lâmpadas de mercúrio

A fonte natural de radiação UV é luz solar, porém radiação UV artificial pode ser emitida em pequenas quantidades por lâmpadas comuns, lâmpadas de halogênio, lâmpadas fluorescentes, telas de computadores, entre outras. Para efeito de desinfecção de águas e esgotos, quantidades de radiação UV muito superiores a estas são necessárias, o que é obtido utilizando lâmpadas de vapor de mercúrio como fonte geradora (GONÇALVES, 2003).

Souza (2013), afirma que as lâmpadas de mercúrio de baixa pressão são as mais comuns, sendo muito utilizadas para a desinfecção UV. Tem eficiência de conversão de energia elétrica em energia radiante de 40 a 60%, geralmente possuem uma saída de UV-C na faixa de 30 – 50W e geram uma radiação monocromática UV de comprimento de onda ( $\lambda$ ) 253,7 nm usualmente 254 nm.



### 3.3. Reúso de Efluente Tratado

A disponibilidade de água doce na Terra está acima da demanda humana. Populações vivem em áreas que recebem grandes precipitações pluviométricas, enquanto outras vivem em regiões semi-áridas ou mesmo áridas (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A consciência sobre a importância do uso racional da água vem crescendo muito em todo o mundo, assim como a utilização de esgotos sanitários para diversos fins, dentre os quais: o reúso da água, aumentando a oferta para usos potáveis, assim como a preservação; a reciclagem de nutrientes, proporcionando economia em fertilizantes, ração animal; redução de lançamento de esgotos, diminuindo a contaminação (AISSE, BASTOS e SANTOS, 2006).

Mancuso e Santos (2003), afirmam que 65% de toda a água consumida são utilizadas pela agricultura, 25% pelas indústrias e os 10% restantes são utilizados para fins urbanos, uma economia de 10% na irrigação seria o suficiente para, grosseiramente, duplicar o consumo doméstico de água.

O descarte da água doce após o uso deve ser repensado. Depois de um tratamento adequado, pode ser destinada ao novo uso, principalmente em indústrias, aplicando a reciclagem interna, já praticada em alguns lugares (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A Organização Mundial da Saúde (1973) (*apud* MANCUSO, 2003) define os tipos de reúso como:

- Reúso indireto: ocorre quando a água já utilizada, para uso doméstico ou industrial, é lançada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- Reuso direto: é o uso de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero;
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente, geralmente em indústrias, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Os benefícios desta prática são apresentados no Manual de Conservação e Reúso de Água pra a Indústria (FIESP; CIESP, 2004), como:

Benefícios ambientais:

- Redução do lançamento de efluentes em cursos d'água, possibilitando a melhoria na qualidade das águas;
- Redução da captação das águas superficiais e subterrâneas;

- Aumento na disponibilidade de água para usos mais exigentes.  
Benefícios econômicos:
- Conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais;
- Mudanças nos padrões de produção e consumo;
- Redução dos custos de produção;
- Aumento da competitividade do setor;
- Benefícios sociais:
- Ampliação da oportunidade de negócios para as empresas fornecedoras de serviços e equipamentos;
- Ampliação na geração de empregos diretos e indiretos;
- Melhoria da imagem da empresa junto à sociedade.

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) publicou em 1997 a primeira norma que estabelece critérios para o reuso de efluente doméstico. A NBR 13.696/97, no item 5.6 diz:

“No caso do esgoto de origem essencialmente doméstica ou com características similares, o esgoto tratado deve ser reutilizado para fins que exigem qualidade de água não potável, mas sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem dos pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagística dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens etc.”

Ainda especifica que devem ser definidos:

- Os usos previsto, todos devem ser considerados;
- O volume a ser reutilizado, estimado considerando as condições locais (clima, frequência de lavagem, etc.) para todos os usos;
- O grau de tratamento necessário, deve ser definido de acordo com o tipo de uso mais retringente;
- Sistema de reservação e distribuição; importante para que não ocorra misturas entre água potável e de reuso;
- Manual de operação e treinamento dos responsáveis.

### 3.3.1. Potencial de reúso de água na Indústria

A lógica da Produção mais Limpa (P + L) tem sido descrita por diversos autores e tem como objetivo ações na fonte geradora dos efluentes e resíduos, ao invés de tratamento e disposição final, isto é, medidas tomadas após a geração dos resíduos, também denominadas de “fim de tubo” (AISSE, BASTOS e SANTOS, 2006).

Deve-se primeiro considerar as alternativas de P + L, como redução no consumo de água, após isto, a alternativa é o tratamento, que tem alto custo, para posterior reaproveitamento da água (TEIXEIRA e JARDIM, 2004).

Para Mancuso e Santos (2003), o reúso para fins industriais pode ser implantado de diferentes formas, conforme as possibilidades existentes no contexto interno ou externo às indústrias. Uma classificação auxiliar dessas modalidades pode ser:

- Reúso macro externo: fornecimento de esgoto tratado para indústrias; pode ser realizado por companhias municipais ou estaduais de saneamento. Torna-se viável se existir uma concentração de indústrias que sejam adeptas ao programa de reúso, em torno da estação de tratamento. Os usos são basicamente:
  - Torres de resfriamento;
  - Caldeiras;
  - Lavagem de peças e equipamentos, principalmente nas indústrias mecânica e metalúrgica;
  - Irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e veículos;
  - Processos industriais (AISSE, BASTOS e SANTOS, 2006).
- Reúso macro interno: O alto custo da água industrial no Brasil têm estimulado as indústrias a analisar a possibilidade de reúso interno. Essa tendência tende a se ampliar ante as novas legislações associadas aos instrumentos de outorga e cobrança pela utilização dos recursos hídricos, tanto na tomada de água como nos despejos de efluentes. Deve ser utilizado para fins que não exigem um alto nível de tratamento, como em torres de resfriamento (AISSE, BASTOS e SANTOS, 2006).
- Reúso interno específico: basicamente a reciclagem de efluentes industriais nos próprios processos nos quais são gerados, ou em outros processos que se desenvolvem em sequência e que suportam a

qualidade do efluente em questão (AISSE, BASTOS e SANTOS, 2006).

A Tabela 4 apresenta a porcentagem de água que alguns segmentos industriais utilizam sem contato direto, para os processos, para uso sanitário e outros.

Tabela 4: Distribuição do consumo de água em indústrias.

Segmento industrial	Distribuição do Consumo de Água (%)		
	Resfriamento sem Contato	Processos e Atividades Afins	Uso Sanitário e Outros
Laticínios	53	27	19
Bebidas maltadas	72	13	15
Materiais plásticos e resinas	93	7	>0,5
Fertilizantes nitrogenados	92	8	>0,5
Refinaria de petróleo	95	5	>0,5
Cimento	82	17	1
Aço	56	43	1
Automóveis	28	69	3

Fonte: adaptado de VAN Der LEEDEN; TROISE and TOSS, 1990, apud FIESP, CIESP (2004)

### 3.3.2. Potencial de reúso de água no meio urbano

O potencial de reúso de efluentes no setor urbano é muito amplo. É possível destinar o efluente tratado para usos potáveis e não potáveis, embora para usos potáveis deva estar livre da presença de organismos patogênicos, metais pesados e compostos orgânicos sintéticos (MACUSO e SANTOS, 2003).

Para isto deve ser empregado um sistema de tratamento eficiente, elevando os custos e muitas vezes tornando o reúso inviável economicamente, além disso, pode não garantir proteção adequada à saúde dos consumidores (MACUSO e SANTOS, 2003).

A primeira opção de reúso na área urbana deve ser para usos não potáveis, já que envolvem riscos menores. Cuidados especiais devem

ser tomados em gramados de parques, jardins, áreas turísticas e campos de esportes. Os maiores potenciais de reúso são:

- Irrigação de parques, jardins, gramados;
- Reserva de proteção contra incêndio;
- Sistemas decorativos aquáticos;
- Descarga sanitária em banheiros;
- Lavagem de trens e ônibus;
- Controle de poeira em obras de aterros, terraplenagem;
- Construção civil, na preparação e cura de concreto, compactação de solos (MACUSO e SANTOS, 2003).

A principal desvantagem é o custo para implantar sistemas duplos de distribuição de água, assim como o risco de conexões cruzadas. Porém a conservação de água potável é um grande benefício (MACUSO e SANTOS, 2003).

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. Amostras de permeado

O esgoto tratado no biorreator era proveniente da rede coletora da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento). O reator trabalhou em batelada sequencial, com um ciclo de 4 horas.

A representação esquemática do sistema piloto de biorreator à membrana é apresentada na Figura 4, onde os números indicados correspondem a: 1- reservatório do afluente; 2- bomba peristáltica de alimentação; 3- misturador; 4- difusor de ar; 5- módulo de membranas; 6- sensor de nível; 7- bomba peristáltica de sucção; 8- reservatório do efluente e 9- painel de comando. Já a Figura 5, apresenta a foto do biorreator à membrana.

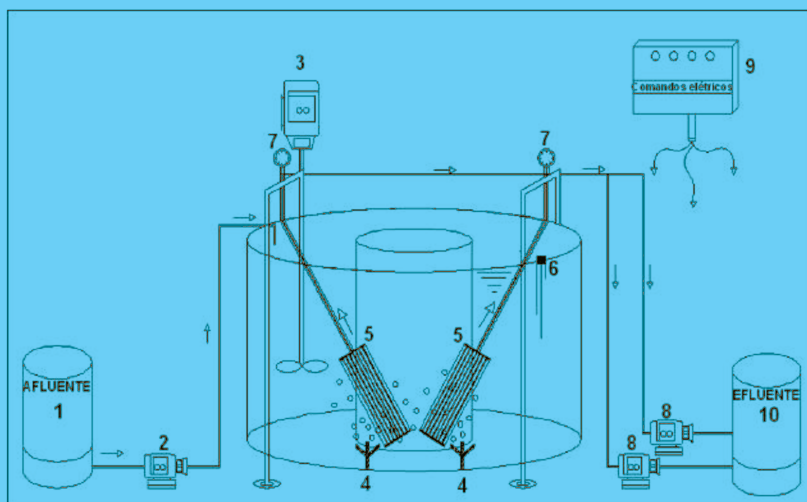


Figura 4: Representação esquemática do biorreator à membrana (BELLI, 2011).



Figura 5: Fotografia do biorreator à membrana piloto

O biorreator está em funcionamento desde o segundo semestre de 2012 e continua em operação.

O permeado utilizado para os ensaios de POA foi proveniente do biorreator à membrana. As Figura 7 e Figura 7 apresentam, respectivamente, o afluente e o efluente do biorreator à membrana e a Tabela 5, apresenta suas principais características.

Tabela 5: Características do esgoto doméstico bruto e após o tratamento no biorreator à membrana.

		Esgoto	
		Bruto	Tratado Biorreator à Membrana (permeado)
COD	mg/L	221,30	8,5
Proteínas	mg/L	34,27	9,0
Cor	UC	162,00	50,0
Turbidez	NTU	98,00	0,19
pH	-	6,5	8,4



Figura 6: Amostra do afluente do biorreator à membrana (BELLI, 2011).



Figura 7: Permeado proveniente do biorreator à membrana.

#### **4.2. Experimento POA $H_2O_2$ /UV**

Os experimentos foram realizados no LARA (Laboratório de Reúso de Águas), localizado no prédio da Engenharia Sanitária e Ambiental, na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).



#### 4.2.1. Reator

O reator utilizado era de fluxo de pistão, do tipo STERILIGHT modelo SSM-24 (Figura 8), de forma cilíndrica onde internamente se encontrava um lâmpada a vapor de mercúrio de baixa pressão (25W e 9000h de vida útil), com emissão de luz a 254 nm e recoberta por um tubo de quartzo. O volume útil do reator era de 1,1 litros.



Figura 8: Reator STERILIGHT modelo SSM-24.

#### 4.2.2. Dosagem de $\text{H}_2\text{O}_2$

As dosagens utilizadas nos ensaios foram de 15, 30 e 50 mg/L de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Foi utilizada uma solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 30% em massa, ou seja cada 100g de solução contem 30g de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , com densidade de 1110g/L.

A Tabela 6 apresenta o volume da solução de  $\text{H}_2\text{O}_2$  referente a cada dosagem utilizada.

Tabela 6: Dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

mg/L	$\text{H}_2\text{O}_2$
	mL de solução 30%
15	0,045
30	0,09
50	0,15

### 4.2.3. Procedimento Experimental

Foi colocado 1000 mL de amostra de permeado em um becker, a fim de homogeneizar com o peróxido de hidrogênio adicionado, conforme as dosagens acima mencionadas.

O reator trabalhou em batelada de 1 hora e 7 amostras foram coletadas ( $T_1 = 0$  min,  $T_2 = 3$  min,  $T_3 = 6$  min,  $T_4 = 9$  min,  $T_5 = 15$  min,  $T_6 = 30$  min e  $T_7 = 60$  min). Todos os testes foram realizados em duplicata para cada concentração de  $H_2O_2$ .

A Figura 9 apresenta o fluxograma das etapas de realização do ensaio.

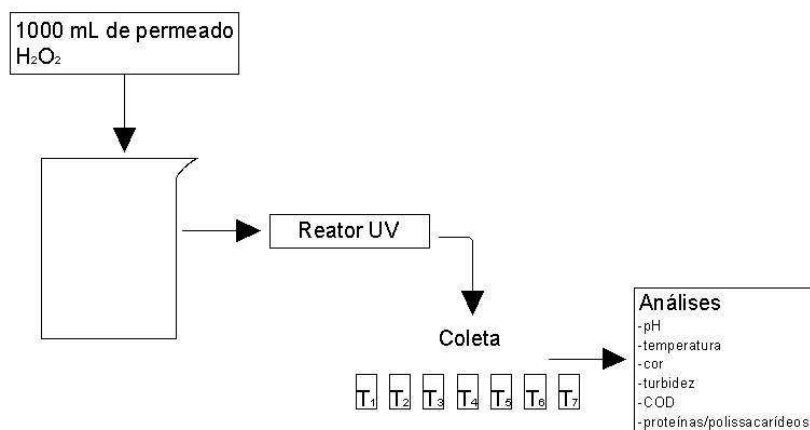


Figura 9: Fluxograma do ensaio  $H_2O_2/UV$ .

Depois de coletadas as amostras, imediatamente se mediu a temperatura, o pH, a cor remanescente e a turbidez remanescente, foram analisadas após a coleta de todas as amostras. Todas as 7 amostras tiveram esses parâmetros analisados. A Figura 10 mostra a coleta e análise da temperatura na amostra  $T_7$ , tempo de 60 minutos.



Figura 10: Coleta e análise da temperatura da amostra no tempo 60 minutos.

Para analisar COD (carbono orgânico dissolvido) foi utilizado apenas as amostras de  $T_0 = 0$  min,  $T_5 = 15$  min,  $T_6 = 30$  min e  $T_7 = 60$  min. Os testes de proteínas e polissacarídeos foram realizados nas amostras  $T_0 = 0$  min,  $T_6 = 30$  min e  $T_7 = 60$  min. Essas amostras ficaram preservadas para posterior análise, ambas foram congeladas, porém para COD acrescentou-se ácido clorídrico.

Após a realização do processo com as 3 concentrações de  $H_2O_2$  (em duplicata), as análises de COD, proteínas e polissacarídeos foram realizadas nas amostras preservadas, como descrito anteriormente.

#### 4.2.4. Análises Realizadas

Para as análises dos parâmetros os seguintes equipamentos foram utilizados:

- pH: Foi utilizado um pHmetro modelo ORION 3 STAR da Thermo Scientific para a determinação do pH nas amostras.

- Cor: Utilizou-se Espectrofotômetro DR 2010 da HACH. A curva utilizada para a leitura foi a do próprio equipamento, 455 nm, com unidade em PtCo. Antes das análises, o equipamento foi zerado com uma amostra de água destilada.
- Turbidez: Para determinação de turbidez utilizou-se o Turbidímetro (método nefelométrico) modelo 21COP da HACH. A unidade dos resultados gerados é NTU.
- COD: As análises de COD foram realizadas no equipamento modelo TOC-L da empresa Shimadzu. Os dados de carbono orgânico dissolvido são expressos em um monitor e sua unidade é mg/L.

## 5. RESULTADOS

O efluente estudado foi coletado após o tratamento no biorreator à membrana, ou seja, o permeado do sistema. Sabendo-se que este tratamento é efetivo na redução de frações orgânicas como DQO, DBO e COD, pretendeu-se avaliar a eficiência do processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como polimento final nesse efluente para remoção de cor, turbidez e matéria orgânica remanescente do processo biológico visando o reúso. As principais características do efluente utilizado nos estudos, considerando seu estado bruto e após tratamento no biorreator, foram indicadas na Tabela 5.

Como pode ser observado, o biorreator à membrana mostrou-se bastante efetivo no tratamento do efluente doméstico, reduzindo significativamente a fração orgânica, como também os valores de cor e turbidez remanescentes.

O permeado foi então submetido ao processo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> nas diferentes concentrações de oxidante. Os resultados, apresentados na Tabela 7, se mostraram excelentes, a Figura 11 apresenta o comparativo entre o permeado e o efluente tratado com o POA H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV, dosagem de 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> com 30 minutos de exposição a radiação UV, melhor resultado obtido analisando todos os parâmetros.



Figura 11: Comparação entre o permeado e o efluente tratado com POA H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV.

Estudos realizados por Alaton et al. (2002); Araújo et al. (2006); Sadik e Nashed (2008), comprovam que somente a radiação UV não promove diminuição significativa dos parâmetros analisados. Na Tabela 7 as eficiências do processo são apresentadas.

Tabela 7: Eficiência do tratamento POA  $H_2O_2$ /UV.

Eficiência do POA				
Parâmetro	Permeado	Efluente	Eficiência* (%)	Melhor conc. $H_2O_2$
Cor (UC)	45,0	1,0	97,8	30 mg $H_2O_2$ /L
Turbidez (NTU)	0,27	0,13	51,8	50 mg $H_2O_2$ /L
COD (mgCOD/L)	8,63	2,96	65,7	50 mg $H_2O_2$ /L
Proteínas (mgproteína/L)	8,75	1,16	81,7	50 mg $H_2O_2$ /L
Polissacarídeos (mgpolissac/L)	4,20	1,96	53,3	30 mg $H_2O_2$ /L

\* Eficiência para 60 minutos de exposição a radiação UV com a melhor concentração obtida para o parâmetro em análise.

## 5.1. Cor

Os resultados obtidos com as análises estão apresentados na Tabela 8 e Figura 12.

Tabela 8: Remoção da cor remanescente em função da concentração de  $H_2O_2$  e tempo de radiação UV.

COR remanescente (UC)			
Tempo (min)	15 mg/L $H_2O_2$	30 mg/L $H_2O_2$	50 mg/L $H_2O_2$
0	49	45	49
3	25	19	21
6	19	6	8
9	12	3	6
15	10	1	3
30	4	1	1
60	3	1	1

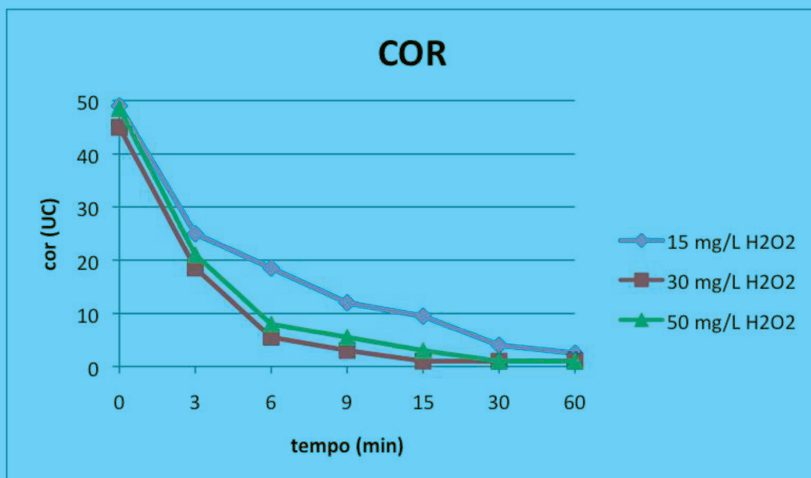


Figura 12: Remoção da cor remanescente em função da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e tempo de radiação UV.

Como esperado, o processo oxidativo degradou a cor remanescente do efluente quase que por completo, apresentando maior eficiência nas concentrações de 30 e 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. A eficiência de remoção após 30 minutos de radiação UV foi praticamente a mesma para essas concentrações de oxidante, de aproximadamente 97%. Como melhor resultado, pode-se dizer que com 15 minutos de tratamento, com a dosagem de 30 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, uma remoção de 97,7 % foi alcançada. Esse resultado mostra que concentrações maiores que esta já corresponde a um consumo em excesso do oxidante. De acordo com Aleboye *et al.* (2003), a taxa de descoloração aumenta com o aumento da dosagem inicial de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> até um valor crítico, a qual é a ideal, e que a partir dessa dosagem o oxidante passa a agir como supressor dos radicais hidroxilas inibindo o processo.

## 5.2. Turbidez

Medidas de turbidez também foram realizadas durante o processo oxidativo. Como destacam Tang e Chen (2004), a elevada turbidez de um efluente é uma condição restritiva para os processos fotoquímicos, pois ela reduz a capacidade de penetração da luz no efluente inibindo a

produção de radicais  $\bullet\text{OH}$ , prejudicando o processo de descoloração. A Tabela 9 e a Figura 13 mostram a redução da turbidez remanescente em função do tempo de radiação UV e da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Pelos resultados, a redução da turbidez foi pequena para todos os ensaios, mas deve-se observar que a mesma já se encontrava com baixo valor, em torno de 0,18 a 0,30 NTU.

Tabela 9: Remoção da turbidez remanescente em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e tempo de radiação UV.

Tempo (min)	TURBIDEZ remanescente (NTU)		
	15 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	30 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	50 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$
0	0,30	0,18	0,27
3	0,19	0,14	0,16
6	0,16	0,11	0,15
9	0,13	0,12	0,16
15	0,11	0,12	0,11
30	0,14	0,12	0,12
60	0,18	0,13	0,13

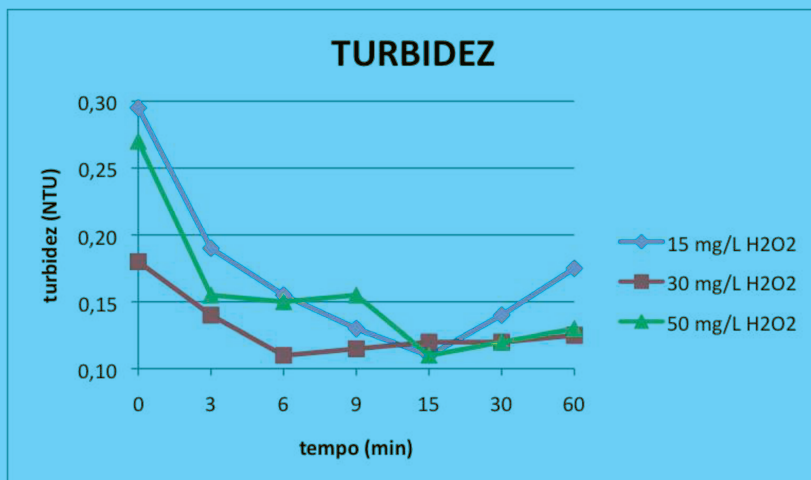


Figura 13: Remoção da turbidez remanescente em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e tempo de radiação UV.

A utilização de  $\text{H}_2\text{O}_2$  acima de 15 mg/L não propiciou aumento significativo na eficiência de remoção da turbidez remanescente após 15



minutos de radiação UV. Com essa concentração obteve-se remoção em torno de 62,7 % após 15 minutos de tratamento. Essa remoção se torna significativa dependendo do uso que for dado para o efluente tratado, podendo contribuir significativamente para o reuso da água na própria planta de tratamento podendo, assim, chegar à descarga zero. Também pode-se observar que após 15 minutos de tratamento houve um aumento do valor de turbidez em todos os ensaios, que pode ter sido em função do aumento da temperatura do efluente, prejudicando a eficiência de remoção.

### 5.3. pH

Em relação ao pH pode-se dizer que os resultados foram consistentes, pois se verificou uma diminuição do pH durante o processo fotoquímico, indicando que houve uma evolução de espécies iônicas na solução. A redução do pH, fato que pode ser observado até os 15 minutos de ensaio, é associada à produção de ânions de ácidos orgânicos e inorgânicos durante o processo fotoquímico, como indicado em vários estudos na literatura (Neamtu et al., 2001; Shu e Shang, 2005). A Figura 14 ilustra os resultados obtidos.

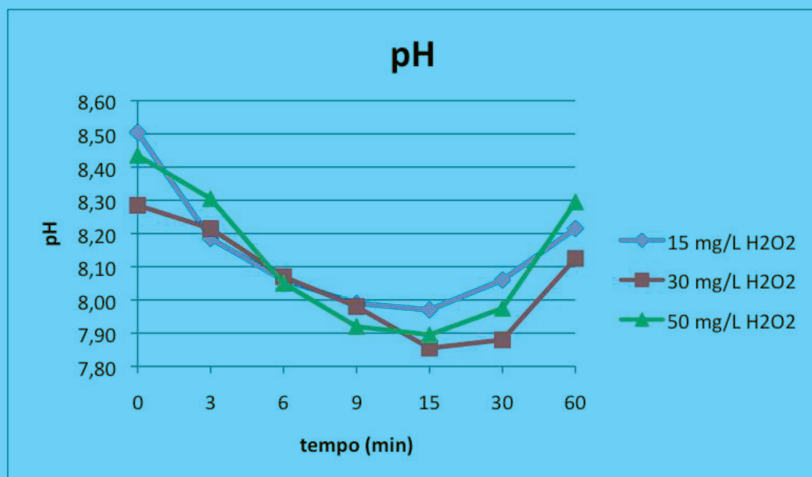


Figura 14: Influência da radiação UV e concentração do  $\text{H}_2\text{O}_2$  no pH do permeado.

Já a presença dos radicais hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ), formados durante o processo, tornam o efluente básico a medida que se encontram em excesso, fato que pôde ser percebido a partir dos 15 minutos de ensaio.

#### 5.4. Temperatura

Foi observado neste experimento que durante o processo oxidativo houve um aumento da temperatura nas amostras, que pode ser explicado pela utilização da lâmpada de baixa pressão sem sistema de refrigeração no reator.

O aumento da temperatura influenciou diretamente os resultados de turbidez (item 5.2) e pH (item 5.3), pois o sistema  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  é uma reação exotérmica, então o aumento da temperatura é desfavorável ao processo (TELÊMACO *et al.*, 2005).

A Figura 15 apresenta os resultados obtidos.

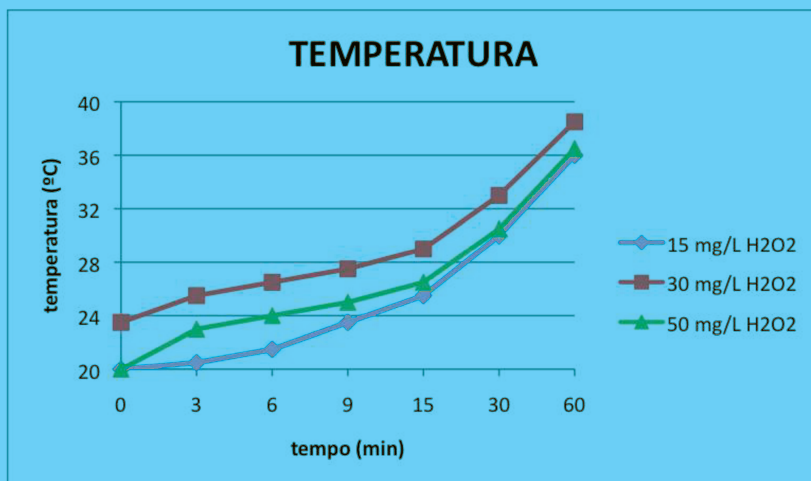


Figura 15: Comportamento da temperatura em função do tempo de exposição a radiação UV.

## 5.5. Matéria orgânica

Para avaliar a degradação da matéria orgânica, análises de COD, proteínas e polissacarídeos foram realizadas antes, durante e após o processo oxidativo.

### 5.5.1. COD

O COD é uma medida da quantidade de carbono orgânico que pode ser oxidado à  $\text{CO}_2$  e a sua determinação avalia a taxa de mineralização, que é um importante indicador da efetividade do processo. A Tabela 10 e a Figura 16 mostram os valores obtidos na remoção de COD.

Tabela 10: Remoção do COD em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e o tempo de radiação UV.

Tempo (min)	COD remanescente (mg COD/L)		
	15 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	30 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	50 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$
0	8,630	8,550	8,630
15	5,621	4,828	4,647
30	4,757	4,235	3,936
60	4,158	3,722	2,959

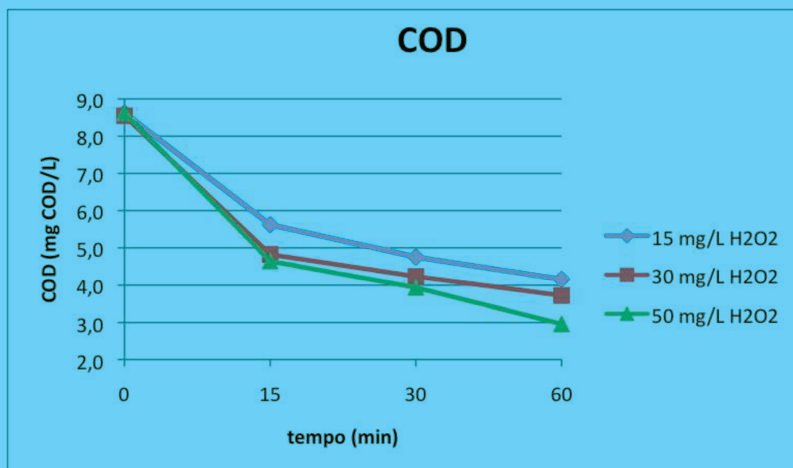


Figura 16: Remoção de COD em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e tempo de radiação UV.

Com 15 minutos de tratamento, uma remoção de 45 % pode ser observada com 30 e 50 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$ , já com 60 minutos de tratamento utilizando-se 50 mg/L  $\text{H}_2\text{O}_2$  obteve-se 65,7 % de remoção de COD.

Segundo Kurbus, et al. (2003), uma baixa redução de COD pode ser explicada pelo fato que durante a descoloração, novas substâncias orgânicas podem ter sido formadas (não identificadas), as quais não são coloridas, mas que necessitam de maior tempo para sua degradação. A concentração inicial de COD já estava baixa, e o processo oxidativo diminuiu ainda mais este parâmetro mostrando a efetividade do processo.

### 5.5.2. Proteínas e Polissacarídeos

A Tabela 11 e a Figura 17 mostram os resultados das análises de proteínas, e a Tabela 12 e a Figura 18 apresentam os dados obtidos nos análises de polissacarídeos. Ambos realizados antes, durante e após o processo oxidativo, onde se pode confirmar a efetividade do processo na remoção da matéria orgânica.

Tabela 11: Redução de proteínas em função da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e do tempo de radiação UV.

PROTEÍNAS remanescente (mg proteínas/L)			
Tempo (min)	15 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	30 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$	50 mg/L $\text{H}_2\text{O}_2$
0	8,750	9,050	8,750
30	1,830	3,355	1,650
60	1,545	1,633	1,165

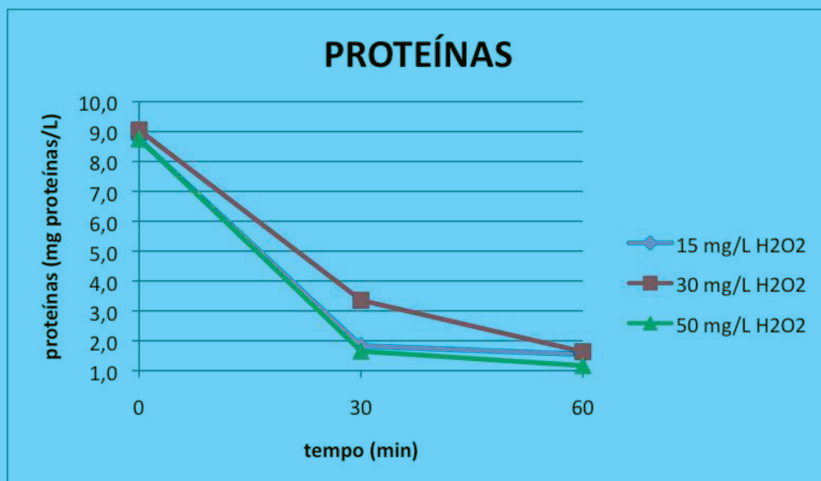


Figura 17: Redução de proteínas em função da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e do tempo de radiação UV.

Tabela 12: Redução de polissacarídeos em função da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e tempo de radiação UV.

POLISSACARÍDEOS remanescente (mg/L)			
Tempo (min)	15 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	30 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	50 mg/L H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
0	4,355	4,200	4,355
30	2,495	1,633	2,035
60	3,010	1,963	3,240

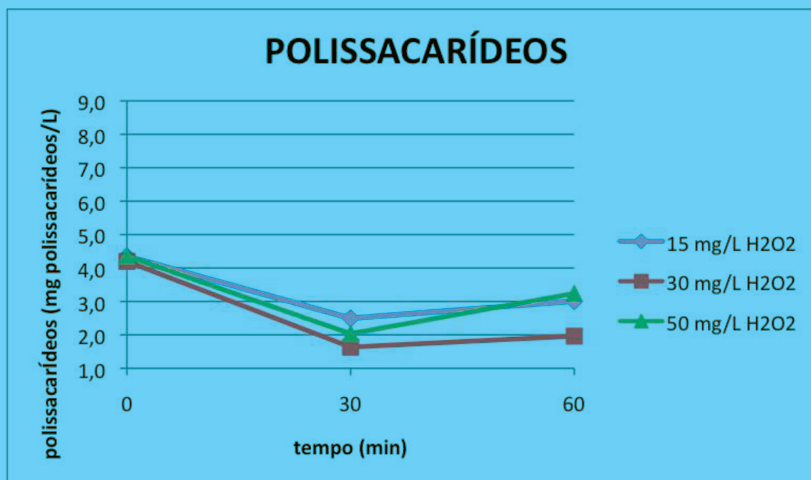


Figura 18: Redução de polissacarídeos em função da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e tempo de radiação UV.

Com 30 minutos de tratamento e utilizando-se 50 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, obteve-se uma redução de 81 % das proteínas, aos 60 minutos a eficiência obtida foi de 86 %.

Para polissacarídeos a eficiência de redução foi de 61 %, aos 30 minutos com concentração de 30 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, aumentando sua concentração no efluente nos últimos 30 minutos de ensaio.

A descoloração pode ser explicada pela capacidade do processo fotoquímico em quebrar as duplas ligações dos compostos orgânicos, fazendo com que as moléculas percam a habilidade de absorver luz na região do visível. Já a baixa remoção de matéria orgânica é devida à oxidação incompleta dos compostos orgânicos, fazendo com que a mineralização total não aconteça. A mineralização completa acontece quando se obtém alta eficiência de remoção da carga orgânica do efluente, através da transformação da carga inicial em subprodutos inertes, geralmente menos tóxicos, ou mesmo à CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O (Almeida et al., 2004; Zanella et al., 2010).

## 6. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES

### 6.1. Conclusão

Com base nos experimentos, pode-se concluir que:

- Os POA são uma boa alternativa de tratamento para efluentes com baixa concentração orgânica e com poluentes não biodegradáveis.
- O melhor resultado obtido foi com 50 mg/L  $H_2O_2$  e 30 minutos de exposição a radiação UV.
- Observou-se 97,8% de remoção de cor remanescente;
- Para turbidez remanescente, a eficiência foi de 55,5%, um bom resultado, já que a turbidez do permeado era baixa;
- Para matéria orgânica remanescente o resultado também foi excelente, COD 54,4%, proteínas 81% e polissacarídeos 53,3% de eficiência.
- O processo fotoquímico se mostra bastante eficiente como pós-tratamento de processo biológico, visto que alguns parâmetros já foram degradados, com pequeno tempo de irradiação UV e pequenas doses de oxidante.

### 6.2. Considerações

- Os procedimentos estudados e apresentados neste trabalho, biorreator à membrana e processos oxidativo avançado  $H_2O_2$ /UV, foram experimentados em escala piloto, sendo interessante a realização dos estudos em escala real (instalado em uma indústria).
- Faz-se necessário novos ensaios levando em consideração diferentes condições de qualidade e carregamento do efluente do biorreator a membranas.
- Para uso em grande escala, se faz necessário um estudo econômico, levando em consideração operação e manutenção do reator, assim

como a dosagem de  $\text{H}_2\text{O}_2$  utilizada e energia consumida, fatores importantes tanto na eficiência do processo como no custo final.

- Sabe-se que a luz solar também é fonte de radiação UV, podendo tornar-se uma alternativa mais econômica do que uso de fonte luminosa artificial.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: *NBR 7229*: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: procedimento. Rio de Janeiro (RJ), 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: *NBR 13969*: Tanque sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação, Rio de Janeiro (RJ), 1997;

AISSE, M. M.; BASTOS, R. K. X.; SANTOS, M. L. F. *Tratamento e utilização de esgotos sanitários*. Recife: ABES, 2006.

ALATOM, I. A.; BALCIOGLU I. A.; BAHNEMANN D. W.. Advanced oxidation of a reactive dyebath effluent: comparison of  $O_3$ ,  $H_2O_2$ /UV-C and  $TiO_2$ /UV-A processes. *Water Research*, v.36, p.1143-1154, 2002.

ALEBOYEH A.; ALEBOYEH H.; MOUSSA Y. “Critical” effect of hydrogen peroxide in photochemical oxidative decolorization of dyes: Acid orange 8, Acid Blue 74 and Methyl Orange. *Dyes and Pigments*, p.67-75, 2003.

ALMEIDA E.; ASSALIN M.R.; ROSA M.A. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Química Nova*, v.27, p.818-824, 2004.

ARAÚJO F.V.F.; YOKOYAMA L.; TEIXEIRA L.A.C. Remoção da cor em soluções de corantes reativos por oxidação com  $H_2O_2$ /UV. *Química Nova*, v.29, p.11-14, 2006.

BELLI, T. J. *Biorreator à membrana em batelada sequencial aplicado ao tratamento de esgoto visando a remoção de nitrogênio total*. 169 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2011

CAMPOS, J. R. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbico e disposição controlada no solo*. São Carlos: ABES, 1999.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A. *Sistemas de esgotamento sanitário: conhecer o passado para moldar o futuro*. 24o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007. Disponível em: [http://teclim.ufba.br/site/material\\_online/publicacoes/pub\\_art49.pdf](http://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art49.pdf)> Acesso em: 08 abr. 2014.

Cunha, V. D. *Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano*. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2008.

FIESP; CIESP. Conservação e Reúso de Água: Manual de Orientações para o Setor Industrial. 2004. v.1. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-da-agua-2004/>>. Acesso em: 11 nov. 2013.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAUDE (BRASIL). *Manual de saneamento*. 4. ed.rev. Brasília (DF); 2006.

GONÇALVES, R. F. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITARIA E AMBIENTAL. PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BASICO (BRASIL). Desinfecção de efluentes sanitarios. Rio de Janeiro (RJ): ABES; São Paulo (SP): RiMa, 2003.

HASSEMER, M. E. N. *Oxidação fotoquímica - UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil*. Florianópolis, SC, 2006. xiii, [162] f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 3. ed. Rio de Janeiro (RJ): ABES, 1995.

KURBUS T., LE MARECHAL A. M., VONCINA D. B. Comparison of  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$  and  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}_2^+$  processes for the decolourisation of vinylsulphone reactive dyes. *Dyes and Pigments*, p.245-252, 2003.

LEME, F. P. *Engenharia do saneamento ambiental*. Rio de Janeiro (RJ): Livros Tecnicos e Cientificos, 1982.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. *Reúso de água*. Barueri: Manole, 2003. xvii, 579p.

MASTERS, G. M.; ELA, W. P. *Introduction to Environmental Engineering and Science*. 3ed. New Jersey: Prentice Hall, 2008.

NEAMTU M., SIMINICEANU I., YEDILER A., KETTRUP A. Kinetics of decolorization and mineralization of reative azo dyes in aqueous solution by the  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  oxidation. *Dyes and Pigments*, v.53, p.93-99, 2001.

RAJ, C. B. C.; QUEN, H. L. Advanced oxidation process for wastewater treatment: optimization of  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  process through statistical technique. *Chemical Engineering Science*, v.60, p.5305–5311, 2005.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. *Introdução à química ambiental*. 2. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009.

SAIDIK W. A.; NASHED A. W. UV-induced decolourization of acid alizarine violet N by homogeneous advanced processes. *Chemical Engineering Journal*, v.137, p. 525-528, 2008.

SANTA CATARINA. Decreto N°14.250 de 5 de junho de 1981. Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à Proteção e a Melhoria da Qualidade Ambiental.

SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. *Membranas filtrantes para tratamento de água, esgoto e água de reúso*. São Paulo (SP): ABES, 2001.

SHU Y.; SHANG M.C. Decolorization and mineralization of a phthalocyanine dye C.I. Direct Blue 199 using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. *Journal of Hazard Materials*, v.125, p.96-101, 2005.

SOUZA, R. C. *Avaliação da remoção de amoxicilina e cefalexina da urina humana por oxidação avançada (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) com vistas ao saneamento ecológico*. 2013. 113 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2013.

TANG C.; CHEN V. The photocatalytic degradation of reactive black 5 using TiO<sub>2</sub>/UV in an annular photoreactor. *Water Research*, v.38, p.2775-2778, 2004.

TELÊMACO, E.P.; LIRA, D. C. B.; NASCIMENTO, L.; WILL, I.B.S.; CHIAVONE-FILHO, O.; GUARDANI, R.; NASCIMENTO, C.A.O. Fotodegradação através do Processo Oxidativo Avançado de um efluente industrial contendo polímeros. *Revista Petro & Química*, v. 278, p. 83-88, 2005.

TSUTIYA, M. T.; ALÉM SOBRINHO, P. *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. 3. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2011.

VARGAS, G. D. L. P. Tratamento terciário de esgoto sanitário através de processos oxidativos avançados para obtenção de água de reúso. Florianópolis, SC, 2008. 264 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Disponível em : <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PENQ0238-T.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2013.

VIANA, P. Z. *Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos: avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa*. 2004. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

VIERO, A. F. *Avaliação do desempenho de um biorreator com membranas submersas para tratamento de efluente*. 2006. 174 p. Tese

(Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ZANELLA, G.; SCHARF, M.; VIEIRA, G. A., PERALTA-ZAMORA, P. Tratamento de banhos de tingimento têxtil por processos foto-Fenton e avaliação da potencialidade de reuso. *Química Nova*, v.33, p.1039-1043, 2010.